

На правах рукописи



БАЙБАКОВ ЭДУАРД ИЛЬДАРОВИЧ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ КАЗАНИ)

03.00.16 - экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Ижевск - 2003

Работа выполнена в Казанском государственном университете
им. В.И. Ульянова-Ленина

Научный руководитель: кандидат биологических наук,
доцент А.П. Ситников

Научный консультант: кандидат биологических наук,
с.н.с. И.Н. Урбанавичене

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
проф. Н.Г. **Ильминских**
кандидат биологических наук,
доцент Ю.Г. Суетина

Ведущая организация: Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Защита состоится " 10 " марта 2003 г. в 15⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета КМ 212.275.05 при Удмуртском государственном университете по адресу: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 1, ауд. 119. Факс (3412) 75-58-66

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Удмуртского государственного университета. 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 1.

Автореферат разослан " 11 " февраля 2003 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, 1 

доктор биологических наук

О.Г. Баранова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Лишайники широко используются в системе экологического мониторинга регионов, подверженных антропогенному воздействию. Чувствительность лишайниковых группировок к различным загрязняющим компонентам неодинакова, а их реакция на сложный комплекс загрязняющих веществ может быть довольно неопределенной. В связи с этим, при их изучении возникает целый ряд существенных вопросов, связанных с выбором методов и подходов, которые могут быть применены на исследуемой территории. Комплексные исследования лишайникового покрова требуют знания не только лишенофлоры исследуемой территории, но и лишенофлоры территорий, смежных с исследуемой урбозкосистемой, знания местной специфики и биологических особенностей тех видов, которые могут быть **встречены**.

Цель работы: Анализ становления лишенофлоры Казани и оценка экологического состояния территории города методами лишеноиндикации.

Задачи исследования.

- 1) Изучить современное состояние лишенофлоры г. Казани, выявить изменения, произошедшие в историческом аспекте и выявить особенности приуроченности видов эпифитных лишайников к различным древесным породам.
- 2) Проанализировать существующие подходы к определению чувствительности видов эпифитных лишайников и выработать наиболее оптимальный способ, применительно к лишенофлоре урбозкосистем.
- 3) Выявить особенности пространственного распределения некоторых видов лишайников и эпифитного лишайникового покрова в целом по территории г. Казани.
- 4) Вычленить влияние автотранспортного загрязнения на эпифитную лишенофлору и выявить их возможную взаимосвязь.
- 5) Провести крупномасштабное лишеноиндикационное картографирование территории г. Казани на основе различных подходов и методов.

Научная новизна. В работе выявлены особенности антропогенной трансформации лишайникового покрова в историческом аспекте. **Впервые** для территории г. Казани проведен подробный пространственно-временной анализ антропогенной трансформации лишайниковых группировок и выявлены особенности их пространственного распределения на городской территории. Предложены и апробированы различные способы определения чувствительности видов эпифитных лишайников к загрязнению атмосферы. Установлена взаимосвязь автотранспортного загрязнения с отдельными показателями, характеризующими **эпифитный** лишайниковый покров. Осуществлены **лишеноиндикационная** оценка атмосферного загрязнения города и проведено крупномасштабное **лишеноиндикационное** картографирование его территории, которое ранее не проводилось для г. Казани.

Практическая значимость. Рассмотренные и апробированные в работе методы могут быть использованы при проведении индикационных работ в городах Среднего Поволжья. При этом применение биоиндикационных методов в исследовании антропогенной трансформации урбозкосистем совместно с инструментальными может **спо-**

способствовать правильному принятию экологически значимых решений. Материалы полевых описаний лишайникового покрова, а также построенные **лихеноиндикационные** карты используются при проведении практических занятий со студентами экологического факультета Казанского госуниверситета.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Формирование лихенофлоры г. Казани в историческом аспекте происходило и происходит под воздействием комплекса экологических факторов, среди которых определяющим является антропогенная трансформация городской территории, как в результате ее освоения, так и в результате увеличения комплексного атмосферного загрязнения. Характер развития эпифитного лишайникового покрова определяется особенностями функционального использования территории.

2. Состояние эпифитного лишайникового покрова автомагистралей города имеет ярко выраженную взаимосвязь с уровнем атмосферного загрязнения, поступающего от передвижных источников.

3. Подходы и методы, апробированные в работе, могут применяться для индикации экологического состояния окружающей среды в крупных городах. Карты, построенные на основе лихеноиндикационных методов, могут быть использованы при разработке проектов развития городских и пригородных территорий.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на итоговых научных конференциях Казанского государственного университета за 1996 и 2000 гг., на всероссийской научно-технической конференции "Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов" (Москва, 1994), на республиканских научных конференциях "Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан" (Казань, 1993, 1995), на II Республиканской научной конференции молодых ученых и специалистов (Казань, 1996), на международной конференции "Современные проблемы микологии, альгологии и фитопатологии" (Москва, 1998), на научно-практической конференции посвященной 80-летию образования естественно-географического факультета Казанского педагогического института "История, опыт работы и перспективы развития естественно-географического факультета" (Казань, 1998).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 3 статьи.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 8-ми глав, рекомендаций к применению, выводов, списка цитируемой литературы и приложений. Работа изложена на 167 страницах (в том числе 26 страниц приложений) и включает 17 таблиц и 22 рисунка. Список цитируемой литературы включает 200 наименований, в том числе 84 на иностранных языках.

1. ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛИХЕНОФЛОРЫ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

В главе дан обзор подходов к зонированию городских территорий. Отмечается, что наиболее приемлемыми для решения задач, связанных с исследованием биологи-

ческих объектов, являются зонирование по функциональному назначению, а также по характеру и степени освоенности территории. Приводятся сведения об истории изучения **лихенофлоры** г. Казани и сопредельных территорий. Кратко рассмотрены вопросы изучения группировок эпифитных **лишайников**, а также особенности используемой в данной области терминологии. Проанализированы влияние городской среды на лихенофлору и особенности изучения лихенофлоры урбанизированных территорий. Приведен обзор методов **лихеноиндикации**, применяемых исследователями в различных городах. Кратко рассмотрены возможности картографического отображения информации о лишайниковом покрове.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приведена краткая физико-географическая характеристика г. Казани. Проанализированы подходы используемые для функционального зонирования территории города. Приведены сведения об особенностях атмосферного загрязнения г. Казани. При этом отмечается, что на долю автотранспортного загрязнения приходится около 75 % валовых выбросов в атмосферу.

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного источника информации послужили **собственные** сборы, которые осуществлялись на основе различных подходов и методов в зависимости от масштаба исследования и предполагаемого анализа. При проведении исторического анализа собственные данные сравнивались с коллекцией К.С. Мережковского (1909-1913 гг.) и имеющимися литературными данными (**Еленкин**, 1906, 1907, 1911; Мережковский, 1920; Голубкова, Малышева, 1978).

При исследовании эпифитной лихенофлоры на территории г. Казани было обследовано **353** пробные площади, на каждой из которых обследовалось не менее 25 деревьев, главным образом лиственных пород. Для заложения пробных площадей нами использована переменноразмерная **сетка**, составленная с учетом функционального использования городской территории (*/. Промышленные зоны. II Городская сеть транспортных магистралей. III. Жилые районы (Селитебные зоны). IV. Озеленные территории*).

При проведении описания эпифитного лишайникового покрова на большинстве пробных площадей мы ограничились лишь составлением списка видов и оценкой покрытия и встречаемости с помощью комбинированного **5^{ти}-балльного** показателя. Для выявления особенностей пространственного распределения лишайниковых группировок в относительно однотипных условиях нами проведено подробное описание эпифитного лишайникового покрова на озелененных территориях. Учет покрытия эпифитных лишайников проводился на стволах деревьев на высоте **1,3 м** и у основания со стороны с максимальным покрытием и с противоположной стороны с помощью квадрат-сетки 20 x 20 см.

В качестве интегрированного показателя, характеризующего вклад автомобильного транспорта в загрязнение атмосферного воздуха, нами выбрано значение интенсивности движения автомобильного транспорта в час-пик.

Для оценки уровня сходства видового состава эпифитной лишенофлоры применялся коэффициент сходства Жаккара (Василевич, 1969). Корреляционный и регрессионный анализ проводился согласно общепринятым формулам (Зайцев, 1984).

С целью лишеноиндикационной оценки атмосферного загрязнения использованы индекс полеотолерантности, предложенный Х.Х. Трассом (1971), показатель количества видов эпифитных лишайников на пробной площади и комбинированный 5-балльный показатель покрытия и встречаемости. Выделение зон загрязнения на основе индекса полеотолерантности осуществлялось без учета типа функционального использования территории. При выделении зон загрязнения на основе количества видов эпифитных лишайников и комбинированного 5-балльного показателя покрытия и встречаемости определение границ осуществлялось с учетом типов функционального использования территории.

Обработка собранной информации осуществлялась с помощью системы хранения и обработки описаний, созданной на основе СУБД "Access 97".

4. СТРУКТУРА ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА Г.КАЗАНИ

4.1. Особенности становления лишенофлоры г. Казани

Составленный список лишайников г. Казани, включает в себя 135 видов, относящихся к 46 родам, 21 семейству класса *Ascomycetes* и 1 вид систематическое положение которого не выяснено. Ведущими по числу видов в лишенофлоре города являются семейства *Parmeliaceae* Zenker (27 видов), *Cladoniaceae* Zenker (22), *Lecanoraceae* Körb. (21), *Physciaceae* Zahlbr. (17), *Teloschistaceae* Zahlbr. (11), *Ramalinaceae* C.Agardh (7), *Bacidiaceae* W.Watson (6). На их долю приходится более 80 % всех видов. Среди морфологических групп ведущими являются накипные — 41 %, Кустистые и листоватые лишайники имеют несколько меньшую долю - 29 и 30 %, соответственно. Ведущей является группа эпифитных лишайников.

Наиболее чувствительной к изменению условий, связанных с ростом города, оказалась группа кустистых лишайников. Доля этой группы к 1993-1999 гг. снижается и составляет 27,2 %.

Часть видов, указанных К.С.Мережковским как широко распространенные и обычные, в настоящее время встречаются значительно реже (*Xanthoria fallax*, виды рода *Cladonia*, *Anaptychia ciliaris*, *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Parmeliopsis ambigua*, *Physconia distorta*, *Physcia aipolia*, *Evernia mesomorpha*, *Candelariella aurella*, *Lecanora allophana*, *Lecania cyrtella*), а часть видов нами не встречена вовсе (*Ramalina dilacerata*, *Melanelia olivacea*, *Cetraria islandica*, *C. ericetorum*, *Arthopyrenia rhyponata*, *Lecanora pulicaris*, *Lecanora populicola*). Как было отмечено Н.С. Голубковой и Н.В. Малышевой (1978), уже в 1976 г. полностью отсутствовали виды *Cetraria islandica*, *C. ericetorum*, и наблюдалось снижение встречаемости видов рода *Cladonia*,

которые являются напочвенными. Это, по-видимому, связано с увеличением рекреационной нагрузки на леса зеленой зоны города и уничтожением соответствующих местообитаний.

В целом за анализируемый период лишенофлора Казани претерпела определенные изменения. При этом говорить об обеднении видового состава нельзя ввиду неравномерности изученности лишенофлоры в отдельные временные интервалы. Наиболее существенным является снижение доли кустистых лишайников и увеличение доли эпифитных лишайников (за счет снижения доли других экологических групп). При этом данные изменения определяются не только увеличением атмосферного загрязнения, но и ростом антропогенного воздействия в целом.

4.2. Группировки эпифитных лишайников и особенности их распределения в городских условиях

В качестве основного термина при рассмотрении группировок эпифитных лишайников нами используется термин "лишайниковая группировка". В этом случае под лишайниковой группировкой понимается совокупность лишайников, совместно произрастающих на определенной части форофита. Разграничиваются два основных уровня и соответственно две группировки - лишайниковая группировка **прикомлевой** части форофита и лишайниковая группировка стволовой части форофита (для **удобства** измерений при ее описании использована высота 1,3 м от почвы).

Видовой состав эпифитных лишайников по древесным породам.

Доля участия различных древесных пород в формировании городской системы озеленения не **одинакова**. Наиболее распространенными видами являются липа сердцелистная, тополь, береза повислая, дуб **черешчатый**, сосна обыкновенная, клен ясенелистный.

На полученной в результате проведенного кластерного анализа дендрограмме достаточно четко выделяется четыре группы видов-форофитов в соответствии с видовым составом эпифитных лишайников. В группы 2 и 4 входят виды деревьев, которые встречаются на территории города довольно редко (рис. 1). Как показывают наши исследования, на этих видах-форофитах отмечается наименьшее количество видов эпифитных лишайников. К 3-ей группе отнесен всего лишь один вид - сосна обыкновенная. Ее обособленное положение связано, прежде всего, с тем, что кора хвойных пород обладает совершенно иными свойствами, нежели лиственные породы. На сосне обнаружено 29 видов эпифитных лишайников. Группа 1 включает в себя только виды лиственных пород. Причем на дендрограмме в данной группе четко выделяется видовой состав березы, что, вероятно, также как и у сосны связано с особенностями коры. На березе отмечено наибольшее количество видов эпифитных лишайников - 45.

Таким образом, анализ особенностей распределения видов эпифитных лишайников показывает, что изученные виды-форофиты имеют отличия в видовом составе эпифитных лишайников. Эти отличия обусловлены свойствами коры деревьев, как субстрата для эпифитных лишайников, а также неравномерностью распределения

древесных пород по территории города. При этом выявленные отличия отчасти нивелируются атмосферным загрязнением.

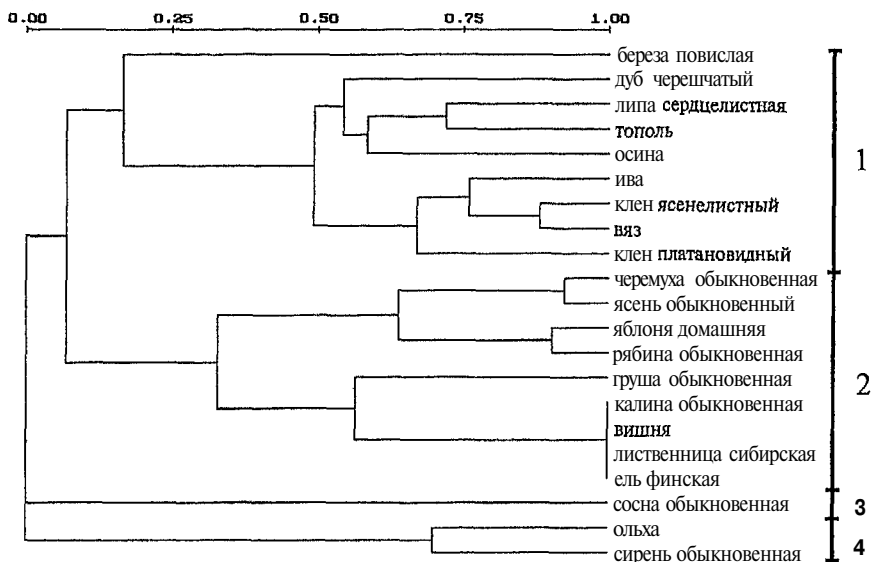


Рис. 1. Классификация видов-форофитов по видовому составу лишайников.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВИДОВ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ К АТМОСФЕРНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЯМ В Г. КАЗАНИ

Подходы и методы определения чувствительности лишайников имеют ту или иную степень субъективности и мало применимы в условиях крупного города. В связи этим нами опробовано несколько методов определения чувствительности видов эпифитных лишайников к атмосферному загрязнению.

Метод 1. В качестве классификационного критерия использована встречаемость видов на обследованных пробных площадях. Максимальная встречаемость составила 275. Выделение групп производилось на основе равномерной шкалы с шагом 12,5 %.

Метод 2. Метод аналогичен предыдущему, отличие заключается лишь в выборе неравномерной шкалы для выделения групп.

Метод 3. В основу метода был положен качественный признак "наличие-отсутствие" вида на пробных площадях в городе. В качестве меры сходства выбран коэффициент корреляции для качественных признаков:

$$r_{++} = \frac{(ad - bc)}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}$$

		Признак 1	
		+	-
Признак 2	+	a	b
	-	c	d

где a , b , c , d - частоты взаимного сочетания (комбинации) двух альтернативных признаков

В результате построения дендрограммы сходные по встречаемости на территории города виды **эпифитных** лишайников были объединены в группы, которые могут соответствовать различным классам полеотолерантности. Далее, на основе встречаемости видов экспертным путем группам были присвоены значения степени полеотолерантности.

Методы 1 - 3 основаны лишь на видовых списках. При этом не учитываются другие показатели эпифитного лишайникового покрова.

Метод 4. Для классификации видов использованы только описания, сделанные в парках и скверах города.

В качестве анализируемых показателей выбраны: встречаемость вида по пробным площадям (процент пробных площадей, на которых встречен вид); встречаемость вида на отдельных стволах деревьев (процент деревьев, на которых встречен вид); среднее количество сопутствующих видов.

Для придания одинаковой значимости анализируемым параметрам данные были стандартизованы относительно максимального значения каждого из признаков.

В качестве меры сходства выбрано "Average Manhattan distances (City-block)", вычисляемое по формуле: $M_{ij} = \frac{1}{n} \sum_k |x_{ki} - x_{kj}|$.

Аналогично 3-му методу на полученной в результате кластерного анализа дендрограмме было выделено 8 групп видов, которым экспертно присваивались значения степени полеотолерантности.

На основе проведенного сравнительного анализа предложенных методов для определения степени полеотолерантности нами предлагается использовать 3-й метод. Следует особо подчеркнуть то, что независимо от способа определения индивидуальной чувствительности видов обязательной экспертной проверке следует подвергнуть виды, получившие наименьшее значение степени полеотолерантности. Как правило, эти виды имеют наименьшую встречаемость, что может быть связано либо с их высокой чувствительностью, и тогда оценка чувствительности будет верна, либо с их биологическими особенностями или особенностями ареалов их распространения. В последнем случае их низкая встречаемость может и не зависеть от чувствительности. В связи с этим, значения степени полеотолерантности видов, имеющих наибольшую чувствительность, нами корректировались в соответствии с литературными данными, приводимыми в работе И.Д.Инсаровой, Г.Э.Инсарова (1989).

6. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В Г.КАЗАНИ

6.1. Пространственное распределение отдельных видов эпифитных лишайников

Анализ пространственного распределения проводился по 23 видам эпифитных лишайников, распределение которых может быть связано с особенностями атмосферного загрязнения городской среды. На основе полученных нами данных выделен ряд категорий. За основу приняты категории видов, использованные Е. Skye (1968) для

лишайников Стокгольма. К Категории 1А отнесены виды *Scoliciosporum chlorococcum* и *Phaeophyscia nigricans*. Они встречаются, главным образом, вблизи промышленных предприятий или в районах с высокой плотностью застройки и интенсивным движением автотранспорта. По мере удаления от антропогенно нарушенных территорий эти виды встречаются значительно реже, а на городских окраинах и в пригороде практически не отмечаются.

Категория 1В включает в себя виды *Phaeophyscia orbicularis*, *Physciastellaris* и *Xanthoria parietina*. Данные виды имеют широкое распространение в центральной части города и имеют высокую долю участия в сложении лишайниковых группировок. К периферии их доля участия значительно снижается, хотя их полного исчезновения из эпифитного лишайникового покрова не происходит.

Категория 2А. К данной категории отнесены виды *Caloplaca cerina*, *Physcia dubia*, *Ph. tenella*, *Physconia distorta* и *Rinodina sophodes*. Они достаточно редко встречаются в центре города и на его периферии.

Категория 2В. Виды *Parmelia sulcata*, *Amandinea punctata*, *Caloplaca holocarpa*, *Candelariella vitellina*, *Lecanora hagenii*, *Physcia adscendens*, *Physconia enteroxantha*. В отличие от категории 2А данная категория объединяет виды, которые не встречаясь в центральной части города, по мере продвижения к периферии приобретают большую значимость в сложении лишайниковых группировок и встречаются на городских окраинах.

Категория 3. Виды рода *Cladonia*, виды *Hypogymniaphysodes*, *Evernia prunastri*, *Hypocnemys scalaris*, *Lecanora symmicta*, *Vulpicidapinastris*. Данная категория объединяет виды, которые встречаются лишь на периферии города.

6.2. Распределение эпифитного лишайникового покрова в зависимости от функционального использования территории

Наименьшее количество видов эпифитных лишайников встречено на пробных площадях обследованных в промышленной зоне (табл. 1). Здесь отмечается только 11 видов, что почти в 5 раз меньше по сравнению с озелененными территориями площадью 1 га и более. Достаточно близко к промышленной зоне по количеству обнаруженных видов эпифитных лишайников находится городская сеть транспортных магистралей. Виды встреченные в этих функциональных типах использования территории являются наиболее толерантными к атмосферному загрязнению. Среди них *Phaeophyscia nigricans*, *Ph. orbicularis*, *Physciastellaris*, *Xanthoria parietina*, *Scoliciosporum chlorococcum* и др. Значение коэффициента сходства между этими функциональными типами составляет 0,6. Как и в промышленной зоне, на городских улицах основным лимитирующим фактором является атмосферное загрязнение. Кроме того, в непосредственной близости к промышленным зонам и вдоль автодорог складываются условия пониженной влажности атмосферного воздуха за счет значительного теплового загрязнения.

В селибной зоне отмечается некоторый рост общего количества видов эпифитных лишайников.

На "озелененных территориях" наблюдается рост количества обнаруженных видов (от 23 до 57 видов). Подтип "озелененные территории площадью 1 га и более" обнаруживает наименьшее сходство с прочими выделенными типами. Для него характерно наличие видов кустистых лишайников. Данная морфологическая группа не отмечена в прочих типах функционального использования территории.

Таблица 1

Встречаемость видов эпифитных лишайников
по функциональным типам использования территории

Названиевида	Функциональныйтип								
	Промышленныезоны	Городская сеть — портных магис ¹	Селитебныезоны					Озелененные территории	
			застройка всех типов	5- и более этажна.	1-3-этажна.	1-этажна.	сады	2 ч	1 га
Видов всего	11	12	23	17	21	14	21	23	57
в т.ч. кустистых	0	0	0	0	0	0	0	0	8
лиственных	4	6	13	8	10	9	12	14	23
накипных	7	6	10	9	11	5	9	9	26

7. ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭПИФИТНУЮ ЛИХЕНОФЛОРУ

Для оценки степени атмосферного загрязнения вблизи автомобильных дорог нами были предложены такие показатели как количество обнаруженных видов эпифитных лишайников на пробной площади, показатель покрытия и встречаемости в баллах, а также модифицированные индексы на основе индекса атмосферной чистоты. Модифицированные индексы вычислялись по формулам:

$$IAP_1 = \frac{f_L}{10} \sum_{i=1}^n Q, \quad IAP_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q, \quad IAP_3 = \frac{f_L}{n} \sum_{i=1}^n Q,$$

где Q - среднее количество сопутствующих видов для конкретного вида в районе исследования, f_L - обилие и встречаемость эпифитных лишайников на пробной площади по 5-балльной шкале; n - количество видов эпифитных лишайников на данной пробной площади.

Применение IAP в трактовке его авторов (LeBlanc & DeSloover, 1970) представляется не целесообразным, поскольку учет покрытия и встречаемости в рассматриваемых "экстремальных" условиях для большинства видов лишайников выявит значение данного показателя в 1 балл. При этом значение индекса будет зависеть лишь от экологического индекса Q , и вычисление оригинального IAP лишь увеличит трудоемкость сбора полевого материала.

Наиболее часто встречающимися на улицах города являются виды *Phaeophyscia orbicularis*, *Xanthoria parietina* и *Scoliciosporum chlorococcum*, являющиеся толерантными к атмосферному загрязнению. Данная особенность упомянутых видов неоднократно отмечалась различными исследователями (Ahti, Vitikainen, 1974; Инсарова, Инсаров, 1989; Insarova *et al.*, 1992 и др.).

Все обследованные пробные площади имеют низкий показатель покрытия и встречаемости эпифитных лишайников, который изменяется на улицах города в пределах от 0 до 2 баллов. Для выявления величины связи выбранных показателей эпифитного лишайникового покрова и интенсивности движения автотранспорта был проведен корреляционный и регрессионный анализ.

Наибольшая связь с интенсивностью движения отмечается у такого показателя как количество видов эпифитных лишайников ($-0,73$). На пробных площадях с интенсивностью движения более 1500 автомашин в час-пик отмечается полное отсутствие эпифитных лишайников на стволах деревьев в придорожной полосе. По мере снижения интенсивности движения на дорогах, увеличиваются среднее количество видов на пробной площади, покрытие и встречаемость эпифитных лишайников, а также значения вычисляемых модифицированных индексов атмосферной чистоты.

В результате проведенного регрессионного анализа была получена следующая зависимость (рис. 2): $N = 4,52499 - 0,00239177 * x$, где N - количество видов эпифитных лишайников, x - интенсивность движения автотранспорта в час-пик.

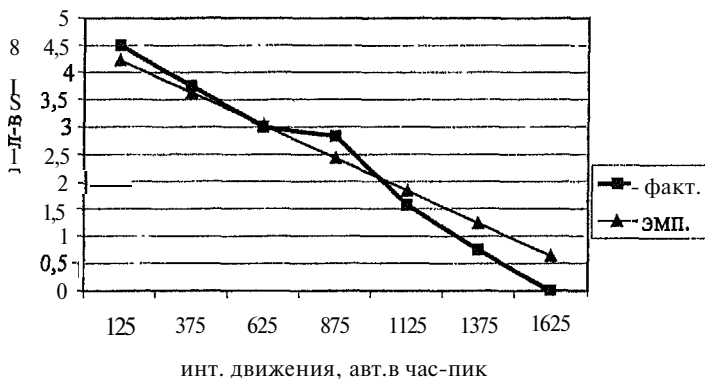


Рис. 2. Зависимость количества видов эпифитных лишайников от интенсивности движения автотранспорта

Таким образом, из рассмотренных показателей для индикации загрязнения вблизи автомобильных дорог приоритетным следует считать такой показатель, как количество видов, поскольку он обнаруживает наибольшую взаимосвязь с интенсивностью движения автотранспорта.

8. ЛИХЕНОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА И КРУПНОМАСШТАБНОЕ ЛИХЕНОИНДИКАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

В работе нами предпринята попытка использования двух, отличающихся друг от друга подходов.

Первый подход основан на дифференцированном обследовании города в зависимости от функционального использования его территории. При этом основу обследования составляют территории парков, скверов и лесопарков города. Такой выбор объясняется, прежде всего, относительным сходством условий. Т.е. состав **лихенофлоры** на этих участках может быть сопоставим, так как причиной различия в дшшом случае, скорее всего, будет различная степень агмосферного загрязнения на участках, а не различие **микrokлиматических** условий.

Второй подход основан на использовании в качестве показателя, характеризующего степень атмосферного загрязнения, такого показателя как количество видов эпифитных лишайников на пробной площади. При этом проведение описаний в различных функциональных типах позволяет интерполировать показатель на аналогичные по условиям участки и более четко провести границы выделяемых зон. Кроме количества видов возможно использование и комбинированного показателя покрытия и встречаемости эпифитных лишайников.

Лихеноиндикационное зонирование территории г. Казани на основе первого подхода.

Вычисление индекса полеотолерантности позволило нам выделить на территории города Казани три зоны с различной степенью атмосферного загрязнения:

I. Зона сильного загрязнения ($IP = 9-101$). Данная зона приурочена к старой части города, которая характеризуется плотной застройкой, малым количеством зеленых насаждений, наличием крупных автомобильных дорог и промышленных предприятий. Среднее количество видов эпифитных лишайников на одну пробную площадь составляет 7,9, среднее проективное покрытие - 4,6 %, а среднее значение $I.P.$ - 9,5 (табл. 2). Для этой зоны характерным является вид *Ph. orbicularis*, который имеет в данной зоне наибольшую встречаемость и долю участия в сложении лишайниковых группировок.

II. Зона среднего загрязнения ($IP = 7 - 8,91$). Среднее количество видов $\sim 11,3$, среднее проективное покрытие - 7,9 %, среднее значение $I.P.$ - 7,9 (табл. 2). Зона характеризуется менее плотной застройкой и занимает возвышенные участки города. Как и в зоне I имеются крупные промпредприятия и оживленные транспортные магистрали. Характерными являются следующие виды: *Ph. dubia*, *L. hagenii*, *Ph. orbicularis*. Они имеют наибольшую долю участия в **сложении** лишайниковых группировок.

III. Зона слабого загрязнения ($IP = 5-6,9$). Зона приурочена, главным образом, к лесопарковой части города с ее крупными лесными массивами. Среднее количество видов - 12,2, среднее проективное покрытие - 10,2 %, среднее значение $I.P.$ - 6,0 (табл. 2). Характерными являются виды *H. scalaris*, *H. physodes*, *Cladonia sp.*

Выделение "чистой" зоны с нормально развитым **эпифитным** лишайниковым покровом на исследованной территории не представляется возможным, поскольку район исследования охватывает антропогенно нарушенные территории. Выход на "чистую" зону возможен лишь при расширении границ исследования.

Таблица 2

Средние значения основных лихеноиндикационных показателей
по выделенным зонам загрязнения

Зона загрязнения	Количество видов	Проективное покрытие, в %			IP
		на высоте 1,3 м	у основания	среднее	
I	7,9	5,7	3,4	4,6	9,5
II	11,3	8,4	7,5	7,9	7,9
III	12,2	8,5	11,9	10,2	6,0

От первой к третьей зоне отмечается снижение процента деревьев, на которых лишайники обнаружены не были.

Для зоны сильного загрязнения в среднем характерно большее проективное покрытие **эпифитного** лишайникового покрова стволовой группировки. К зоне слабого загрязнения данное соотношение изменяется в сторону прикомлевой части ствола (табл. 2).

В первой зоне вид *Ph. orbicularis* доминирует в большинстве лишайниковых группировок. При этом он не обнаруживает приуроченности к отдельным высотным уровням и доминирует как в стволовой, так и прикомлевой части ствола.

Во второй зоне вид *Ph. orbicularis* постепенно оттесняется из лишайниковых группировок другими видами. На высоте 1,3 м наибольшее участие имеет *L. hagenii*, а у основания стволов - *Ph dubia*. Вид *Ph. orbicularis* также как и в первой зоне не обнаруживает высотной приуроченности.

В третьей зоне наибольшее участие в сложении лишайниковых группировок обнаруживают те виды, которые либо не встречались в первой и второй, либо их доля участия в сложении эпифитного лишайникового покрова была достаточно низкая. Относительно высокую долю у основания стволов деревьев составляют виды рода *Cladonia*, *H. scalaris* и *H. physodes*; на высоте 1,3 м от уровня земли - виды *H. physodes* и *H. scalaris*. Такая смена доминирования обусловлена с одной стороны снижением уровня загрязнения, с другой - сменой субстрата. Поскольку лесопарковые массивы города сформированы в основном сосной обыкновенной, то и обследование нами проводилось на деревьях данной породы. При этом именно сменой субстрата обусловлено появление такого вида как *H. scalaris*. Вид *H. physodes* в зоне слабого загрязнения обнаруживает четкую приуроченность к стволовой лишайниковой группировке. Развиваясь у основания стволов данный вид, как правило, не может составить конкуренцию видам рода *Cladonia* и виду *Я. scalaris*.

Лихеноиндикация на основе второго подхода.

На основе второго подхода с использованием количества видов **эпифитных** лишайников на пробной площади для территории г. Казани нами также выделено три зоны:

I. Зона сильного загрязнения включает в себя пробные площади, на которых отмечено от 0 до 4 видов эпифитных лишайников. Она приурочена в первую очередь к крупным промышленным предприятиям и промышленным зонам города. Кроме того, к данной зоне относится центральная часть города с плотной застройкой и интенсивным автомобильным движением,

II. Зона среднего загрязнения. Количество обнаруженных видов эпифитных лишайников составляет от 5 до 9. Данная зона занимает промежуточное положение между I-ой и III-ей и приурочена, как правило, к жилым массивам.

III. Зона слабого загрязнения. Количество видов 10 и более. Аналогично выделению зон на основе индекса полеотолерантности, в зону слабого загрязнения вошли лесопарковая часть города, значительные по площади озелененные территории, сформированные древесной растительностью. Также к зоне слабого загрязнения относятся фрагменты 1-этажной жилой застройки расположенные на периферии города и расположенные на некотором удалении от крупных промышленных предприятий и промзон.

Предпринятая попытка построения **лихеноиндикационных** зон на основе комбинированного показателя покрытия и встречаемости эпифитных лишайников выявила картину, близкую к зонированию на основе количества видов.

Рассматриваемые подходы имеют ряд особенностей. При использовании первого подхода особенности атмосферного загрязнения отдельных локальных участков не учитываются. Так, например, улицы с интенсивным автомобильным движением относятся не к зоне с сильным загрязнением, а к более "чистым" участкам. Однако, несмотря на данный недостаток такой подход, по нашему мнению, может быть использован при проведении зонирования в масштабе 1 : 100 000 и мельче. Для зонирования могут быть использованы индексы полеотолерантности и атмосферной чистоты. Второй подход может быть использован при проведении крупномасштабного **лихеноиндикационного картографирования комплексного атмосферного** загрязнения и составлении карт масштаба 1 : 100 000 и крупнее.

Сравнение полученных вариантов лихеноиндикационного зонирования с данными о загрязнении атмосферы города показало, что построенные нами зоны достаточно точно отражают ситуацию фактического загрязнения.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРИМЕНЕНИЮ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПРАКТИКЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Необходимо отметить, что оценка качества состояния окружающей среды с помощью биологических объектов должна стать неотъемлемой частью мониторинговых исследований в крупных промышленных городах. Лишайники могут являться одним из объектов таких исследований.

Полученные в ходе исследования материалы четко показывают, что лишенофлора городских территорий подвержена существенному влиянию со стороны всего комплекса факторов, который складывается в условиях крупной урбоэкосистемы. Степень развития города определяет скорость и пути трансформации лишайникового покрова.

Апробация методик **лихеноиндикационного** зонирования показывает, что в условиях г. Казани могут быть использованы подходы, основанные на использовании как специализированных лишеноиндикационных индексов, так и на основе отдельных показателей лишайникового покрова. При этом приоритетными, на наш взгляд, являются упрощенные подходы на основе количества видов эпифитных лишайников на пробной площади и комбинированного 5-балльного показателя покрытия и встречаемости.

Рассмотренные и апробированные в работе методы могут быть использованы при проведении работ в городах Среднего Поволжья. Применение биоиндикационных методов в исследовании антропогенной трансформации урбоэкосистем совместно с инструментальными методами может способствовать принятию правильных экологически значимых решений.

ВЫВОДЫ

- 1) Лишенофлора г. Казани включает 135 видов, относящихся к 46 родам, 21 семейству класса *Ascomycetes* и 1 вид систематическое положение которого не выяснено. Ведущими по числу видов в лишенофлоре города являются семейства *Parmeliaceae* Zenker (27 видов), *Cladoniaceae* Zenker (22), *Lecanoraceae* K rb. (21), *Physciaceae* Zahlbr. (17), *Teloschistaceae* Zahlbr. (11), *Ramalinaceae* C.Agardh (7), *Bacidiaceae* W.Watson (6). На их долю приходится более 80 % всех видов. Среди морфологических групп ведущими являются накипные лишайники (41%). Кустистые и листоватые лишайники имеют долю - 29 и 30%, соответственно. За период изучения лишенофлоры г. Казани наиболее существенным является снижение доли кустистых и листоватых лишайников, которое вызвано не только увеличением атмосферного загрязнения, но и увеличением антропогенного воздействия в целом. Среди экологических групп лишайников отмечено увеличение доли участия эпифитных видов за счет снижения доли других экологических групп.
- 2) Изученные виды-форофиты имеют отличия в видовом составе эпифитных лишайников, которые обусловлены свойствами коры деревьев, как субстрата, а также нерав-

номерностью распределения древесных пород по территории города. Выявленные отличия отчасти нивелируются атмосферным загрязнением.

3) Для определения степени **полеотолерантности** видов **эпифитных** лишайников нами предлагается метод, в основу которого положен качественный признак "наличие-отсутствие" вида на пробных площадях, с использованием кластерного анализа. Присвоение значения степени полеотолерантности выделенным группам проводится на основе ранжирования групп по средней встречаемости видов. Независимо от способа определения индивидуальной чувствительности видов обязательной экспертной оценке должны быть подвергнуты виды, получившие наименьшее значение степени полеотолерантности. Эти виды имеют наименьшую **встречаемость**, что может быть связано либо с их высокой чувствительностью к атмосферному загрязнению и тогда оценка чувствительности будет верна, либо с их биологическими особенностями, либо особенностями ареалов их распространения. В последнем случае их низкая встречаемость может и не зависеть от чувствительности.

4) Анализ распределения отдельных видов эпифитных лишайников по территории города позволил разделить виды на ряд категорий. К категории 1А отнесены виды встречающиеся, главным образом, вблизи промышленных предприятий или в районах с высокой плотностью застройки и интенсивным движением автотранспорта. По мере удаления от антропогенно нарушенных территорий данные виды встречаются значительно реже, а на городских окраинах и в пригороде они практически не отмечаются. Категория 1В включает в себя виды, которые имеют довольно значительное распространение в центральной части города. К периферии их доля участия значительно снижается, хотя при этом и не происходит их полного исчезновения из эпифитного лишайникового покрова. К категории 2А относятся виды достаточно редко встречающиеся как в центре города так и на его периферии. Категория 2В объединяет виды, которые не встречаясь в центральной части города, по мере продвижения к периферии приобретают большую значимость в сложении лишайниковых группировок и встречаются на городских окраинах. Категория 3 объединяет виды, которые встречаются лишь на периферии города.

5) Современный облик лишенофлоры и закономерности ее формирования в г. Казани в значительной степени определяются функциональным использованием городской территории. Наиболее разнообразным по видовому составу является эпифитный лишайниковый покров, развивающийся на озелененных территориях площадью 1 га и более. Здесь наряду с толерантными встречаются и чувствительные к атмосферному загрязнению виды. Прочие функциональные типы значительно отличаются как по количеству видов, так и по структуре видового состава. Наименьшее видовое разнообразие отмечается в промышленной зоне и на участках городской сети транспортных магистралей. Здесь встречаются в основном только виды, которые имеют относительно высокую толерантность к атмосферному загрязнению.

6) Для индикации загрязнения вблизи автомобильных дорог может быть использован такой показатель, как количество видов эпифитных лишайников, поскольку он обна-

руживает наибольшую взаимосвязь с интенсивностью движения автотранспорта (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен $-0,73$). Наиболее часто встречающимися на улицах города являются виды *Phaeophyscia orbicularis*, *Xanthoria parietina* и *Scoliciosporum chlorococcum*, которые являются одними из наиболее толерантных видов. Все обследованные пробные площади имеют низкий показатель покрытия и встречаемости эпифитных лишайников (от 0 до 2 баллов). На пробных площадях с интенсивностью движения более 1500 автомашин в час-пик отмечается полное отсутствие эпифитных лишайников на стволах деревьев в придорожной полосе.

7) При исследовании территорий крупных городов приоритетными являются упрощенные подходы, построенные на основе анализа количества видов эпифитных лишайников на пробной площади и комбинированного 5-балльного показателя покрытия и встречаемости. Данный подход позволил выделить на территории г. Казани три зоны:

I. Зона сильного загрязнения приурочена к крупным промышленным предприятиям и промзонам города, а также к центральной части города с плотной застройкой и интенсивным автомобильным движением.

II. Зона среднего загрязнения приурочена, как правило, к жилым массивам, расположенным на повышениях рельефа.

III. Зона слабого загрязнения, в которую вошли лесопарковая часть города, значительные по площади озелененные территории, сформированные древесной растительностью, а также фрагменты 1-этажной жилой застройки на периферии города и расположенные на некотором удалении от крупных промпредприятий и промзон.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Байбаков Э.И. Лихеноиндикация состояния атмосферного воздуха в районе г. Казани // Всероссийская научно-техническая конференция "Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов". Том 4. Тезисы докладов. Москва, 1994. С. 55-56.
2. Байбаков Э. И., Ситников А.П., Шаландина В.Т. Состояние эпифитной лишайнофлоры в зоне влияния Нижнекамского промышленного комплекса // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Материалы I Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С. 48.
3. Байбаков Э. И., Шаландина В.Т. Лихеноиндикация степени загрязнения среды Казани и ее окрестностей (по материалам исследований 1993 г.) // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Материалы I Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С. 48-49.
4. Байбаков Э. И. Лишайники Волжско-Камского заповедника и фоновый экологический мониторинг // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Материалы II Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С. 50.
5. Байбаков Э.И. Распределение некоторых видов эпифитных лишайников в г. Казани при разном уровне атмосферного загрязнения // Актуальные экологические про-

- блемы Республики Татарстан. Материалы II Республиканской научной конференции. Казань, 1995. С. 50-51.
6. Байбаков **Э.И.** Эпифитная лихенофлора и экологический мониторинг города Казани // II Республиканская научная конференция молодых ученых и специалистов (Тезисы докладов). Книга 1. Казань, 1996. С. 56.
 7. Байбаков **Э.И.**, Ситников А.П. Лихеноиндикационное картографирование атмосферного загрязнения г. Казани // Мониторинг. 1996. № 2. С. 30-34.
 8. Байбаков **Э.И.** Лихеноиндикационное картографирование атмосферных загрязнений городов Волжско-Камского края // Совр. пробл. микологии, альгологии и фитопатологии. Сб.тр.международ.конф. (Москва, апрель, 1998). М., 1998. С. 366-367.
 9. Байбаков **Э.И.**, Ситников А.П. Лихенофлора г. Казани; Изменение видового состава в историческом аспекте // Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии. 2000. № 1. С. 41-47.
- Ю.Байбаков **Э.И.** Влияние автотранспортного загрязнения атмосферы на эпифитную лихенофлору города Казани // Вторая Российская Лихенологическая Школа и Международный Симпозиум Молодых Лихенологов "Лишайники аридных зон". Волгоград, 2-9 мая 2001 г. Тезисы докладов. 2001. С. 12.
- П.Байбаков **Э.И.**, Ситников А.П., Костюкевич И.И. Лихенофлора г.Казани: влияние автотранспортного загрязнения атмосферы на эпифитную лихенофлору // Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии. 2001. №1-2. С.44-47.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю признательность и благодарность заведующему кафедрой ботаники Казанского государственного университета, доценту, к.б.н. А.П. Ситникову за руководство и всемерное содействие в выполнении работы; к.б.н., с.н.с. Байкальского заповедника **И.Н. Урбанавичене** за научные консультации; к.г.н., с.н.с. Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского научного центра РАН Г.П. **Урбанавичюсу** за ценные замечания, сделанные в период написания работы; сотрудникам кафедры ландшафтной экологии **КГУ** и членам моей семьи за моральную поддержку и понимание.